



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЖРЕМОНТНОГО ЦИКЛА ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА

Ю.А. АРСЕНТЬЕВ<sup>1,\*</sup>, А.П. НАЗАРОВ<sup>1</sup>, Н.В. СОЛОВЬЕВ<sup>1</sup>, Д.А. ИВАНОВ<sup>2</sup>, А.Г. ИВАНОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

<sup>2</sup> Компания «Везерфорд»

4, 4-й Лесной переулок, г. Москва 125047, Россия

<sup>3</sup> АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии»  
33, Каширское шоссе, г. Москва 115409, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Эксплуатация технологических скважин подземного выщелачивания металлов неизбежно приводит к снижению их проектной производительности, что сопровождается увеличением сроков отработки месторождений. В настоящей работе показано влияние своевременности выполнения ремонтно-восстановительных работ на эффективность добычи металлов, а также обоснованы расчетные показатели для определения длительности межремонтных циклов ремонтно-восстановительных работ.

**Цель.** Настоящая работа представляет собой попытку аналитически разработать основной показатель длительности межремонтного цикла эксплуатации технологических скважин для определения периодичности выполнения ремонтно-восстановительных работ (РВР) в зависимости от интенсивности падения производительности скважин скважинного подземного выщелачивания (СПВ) и коэффициента выбора эффективного вида комплексов технических средств и технологических приемов для проведения РВР.

**Материалы и методы.** Настоящая работа позволяет решить указанные выше задачи путем аппроксимации экспоненциальной закономерности изменения производительности технологической скважины во времени линейной функцией.

**Результаты.** Указанный методологический подход позволил получить основной и производные показатели:  $T_m$  — длительность МРЦ технологической скважины,  $k_b$  — показатель восстановления технологической скважины,  $k_z$  — показатель выбора эффективного вида РВР и сформулировать методические положения по обоснованию частоты выполнения РВР технологических скважин СПВ урана для восстановления их как проектной, так и допустимой максимальной производительности.

**Заключение.** Полученные итоговые зависимости имеют простой вид и могут использоваться линейным персоналом участков РВР и ДПР (добычи продуктивных растворов).

**Ключевые слова:** технологическая скважина, производительность скважины, межремонтный цикл, основной и производные показатели

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Арсентьев Ю.А., Назаров А.П., Соловьев Н.В., Иванов Д.А., Иванов А.Г. Определение межремонтного цикла для технологических скважин скважинного подземного выщелачивания урана. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(1):99—108. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-99-108>

Статья поступила в редакцию 28.11.2023  
Принята к публикации 24.04.2024  
Опубликована 29.04.2024

\* Автор, ответственный за переписку

## DETERMINATION OF THE INTER-REPAIR CYCLE OF PRODUCTION BOREHOLES FOR UNDERGROUND URANIUM LEACHING

YURI A. ARSENTIEV<sup>1,\*</sup>, ALEXANDER P. NAZAROV<sup>1</sup>, NIKOLAY V. SOLOVIEV<sup>1</sup>,  
DMITRIY A. IVANOV<sup>2</sup>, ALEXANDER G. IVANOV<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

<sup>2</sup> *Company "Weatherford"  
4, 4th Lesnoy lane, Moscow 125047, Russia*

<sup>3</sup> *JSC "Leading Design and Survey and Research Institute of Industrial Technology"  
33, Kashirskoe highway, Moscow 115409, Russia*

### ABSTRACT

**Introduction.** The operation of technological wells for underground leaching of metals inevitably leads to a decrease in their design productivity, which is accompanied by an increase in the development time of deposits. This paper shows the impact of the timeliness of repair and restoration work on the efficiency of metal mining, and also substantiates the calculated indicators for determining the duration of repair and restoration work cycles between repairs.

**Target.** This work is an attempt to analytically develop the main indicator of the duration of the overhaul cycle of the operation of technological wells to determine the frequency of repair and restoration work (RVR) depending on the intensity of the decline in the productivity of borehole in situ leaching (IIL) wells and the coefficient for selecting an effective type of complexes of technical means and technological methods for carrying out RVR.

**Materials and methods.** This work makes it possible to solve the above problems by approximating the exponential pattern of changes in the productivity of a technological well over time by a linear function.

**Results.** The specified methodological approach made it possible to obtain the main and derivative indicators:  $T_M$  — the duration of the MRC of a technological well,  $k_b$  — the indicator of restoration of a technological well,  $k_s$  — an indicator for choosing an effective type of RWR and to formulate methodological provisions for justifying the frequency of performing RWR of technological wells of SPV uranium to restore them as designed, and the permissible maximum performance.

**Conclusion.** The resulting dependencies have a simple form and can be used by the linear personnel of the RVR and DPR (production of productive solutions).

**Keywords:** technological well, well productivity, turnaround cycle, main and derivative indicators

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**Financial disclosures:** no financial support was provided for this study.

**For citation:** Arsentiev Yu. A., Nazarov A.P., Soloviev N.V., Ivanov D.A., Ivanov A.G. Determination of the inter-repair cycle of production boreholes for underground uranium leaching. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(1):99—108. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-99-108>

*Manuscript received 28 November 2023*

*Accepted 24 April 2024*

*Published 29 April 2024*

\* Corresponding author

В настоящее время известно ограниченное число публикаций и разработок, посвященных решению указанной проблемы [1—3, 8]. Имеющиеся рекомендации не нашли практического применения в процессе эксплуатации технологических скважин, поскольку для обоснования периодичности проведения восстановительных обработок скважин предлагалось использовать экономический (стоимостной) критерий, носящий субъективный характер и определяемый основной формулой неоправданно сложного содержания [8].

Практика эксплуатации скважинных систем подтверждает, что эффективность способа СПВ зависит непосредственно от поддержания производительности технологических скважин на оптимальном уровне.

Однако в процессе отработки рудных залежей производительность технологических скважин постепенно снижается вследствие геолого-гидрогеологических особенностей отрабатываемых месторождений и связанных с этим различных видов кольматации фильтров и прифильтровых зон (ПФЗ) скважин: механической, химической, газовой, комплексной. Важными внешними факторами, влияющими на интенсивность снижения производительности, являются конструкция скважины, применяемые типы труб эксплуатационных колонн и фильтров, температурные режимы воды продуктивного горизонта и рабочих растворов и другие технико-технологические особенности добычи металла. В связи с этим на скважинах, производительность которых достигает минимально допустимого уровня, выполняются различные виды РВР: эрлифтные прокачки, пневмоимпульсная обработка, обработка с использованием гидроимпульсов, химическая обработка ПФЗ, комбинированные методы обработок. Некоторая обобщенная информация по техническим средствам и технологиям РВР приведена в работах [4—6]. При этом следует отметить, что в настоящее время разработка графика выполнения РВР, выбор вида ремонтных работ и определение количества скважин, подлежащих ремонту, не имеют математического обоснования.

Для разработки плановой системы проведения РВР технологической скважины предлагается в качестве основного показателя принять показатель времени в виде длительности межремонтного

цикла эксплуатации технологической скважины (МРЦ)  $T_m$  при ее допустимой максимальной производительности, зависящей от правильного выбора вида РВР. Этот показатель позволяет заранее планировать сроки выполнения РВР и выбирать соответствующие технические средства для их реализации. Длительность МРЦ технологической скважины определяется скоростью падения производительности, которая зависит от следующих внешних факторов: геохимических свойств и гранулометрического состава пород продуктивного горизонта; конструкции и скважности фильтров закачных и откачных скважин; способа подачи рабочих растворов в закачные скважины в режиме свободного налива или нагнетания под избыточным давлением на устье; применяемого способа подъема продуктивных растворов; методов и технических средств выполнения РВР. Именно по причине многофакторного влияния на длительность МРЦ она должна определяться для каждой конкретной скважины или группы скважин, имеющих аналогичные характеристики в пределах одного эксплуатационного блока залежи или месторождения в целом.

В качестве теоретической базы для вывода основной формулы, позволяющей находить длительность МРЦ после проведения РВР, предлагается использовать расчетную схему, показанную на рисунке 1.

При этом расчет выполняется с учетом следующих допущений.

1. Для описания характера изменения производительности технологической скважины во времени принимается экспоненциальная зависимость, аналогичная разработанной для водозаборных скважин [7].

2. Экспоненциальная зависимость изменения производительности технологической скважины во времени аппроксимируется линейной функцией.

3. Линейный характер изменения производительности технологической скважины во времени после проведения РВР остается неизменным.

4. Величина интенсивности снижения производительности технологической скважины во времени до и после проведения РВР сохраняется постоянной.



**Таблица.** Значения коэффициента восстановления технологической скважины  
**Table.** Values of the recovery coefficient of the technological well

Параметр	Вид РВР		
	РВР 1	РВР 2	РВР N
$Q_m, \text{ м}^3/\text{сут}$	+	+	+
$Q_n, \text{ м}^3/\text{сут}$	+	+	+
$k_b = Q_m / Q_n$	+	+	+

$$T_m = \frac{k_b - k}{1 - k} \cdot T_n \quad (10)$$

Величина коэффициента восстановления  $k_b$  производительности технологической скважины выбирается по таблице, приведенной ниже, в зависимости от применяемого вида РВР.

Далее рассмотрим пример использования полученной выше основной формулы (10) и определим длительность МРЦ при максимальной производительности технологической скважины после проведения РВР с учетом следующих исходных данных:  $T_n = 20$  суток;  $k_b = 1, 2, 3, 4$ . Тогда получим соответственно:  $T_m = 20, 45, 154, 220$  суток.

По результатам расчета построим график изменения длительности МРЦ при максимальной производительности технологической скважины, которая определяется эффективностью применяемого вида РВР (рис. 2).

Приведенная выше формула (10) пригодна не только для определения длительности МРЦ при максимальной производительности технологической скважины после проведения РВР —  $T_m$ , но и для количественной оценки эффективности предлагаемых для обработки скважин видов РВР, поскольку отношение  $T_m / T_n$  и будет представлять собой коэффициент эффективности  $k_э$  предлагаемого к использованию вида РВР, который будет определяться формулой вида

$$k_э = T_m / T_n \quad (11)$$

но так как согласно основной формуле (10)  $T_m / T_n = (k_b - k) / (1 - k)$ , то

$$k_э = (k_b - k) / (1 - k). \quad (12)$$

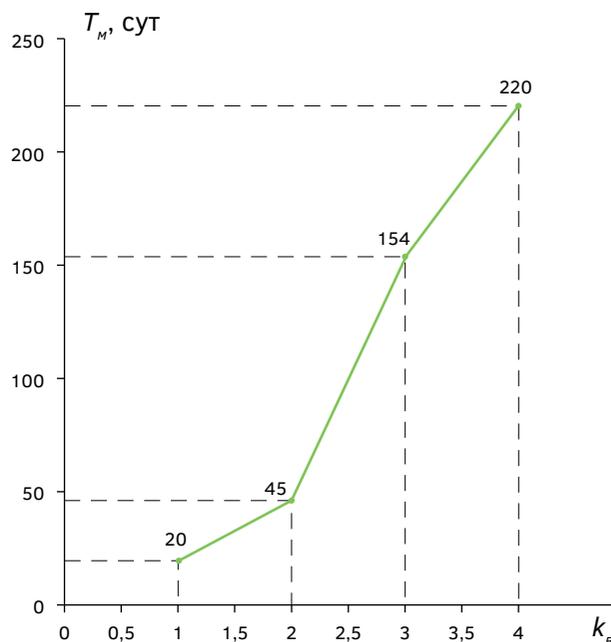
В формуле (12) переменной величиной является коэффициент восстановления  $k_b$  производительности технологической скважины. Если принять коэффициент пропорциональности  $k = 0,7$ , а  $k_{b1} = 2$ ;  $k_{b2} = 3$ ;  $k_{bN} = n$ , то коэффициент эффективности предлагаемого к реализации вида РВР будет соответственно равен:  $k_{э1} = 4,33$ ;  $k_{э2} = 7,67$ ;  $k_{эN} = 3,33$  ( $k_{bN} - 0,7$ ). При этом следует иметь в виду, что изменение величины

коэффициента пропорциональности  $k$  оказывает влияние не только на величину производительности вывода технологической скважины в ремонт  $Q_p = k \cdot Q_n$ , но и на длительность МРЦ при проектной производительности  $T_n$  технологической скважины, входящей в состав основной формулы (10). Для числовой оценки влияния можно воспользоваться рисунком 3, из которого следует

$$(Q_n - Q_{p1}) / T_{n1} = (Q_n - Q_{p2}) / T_{n2}, \quad (13)$$

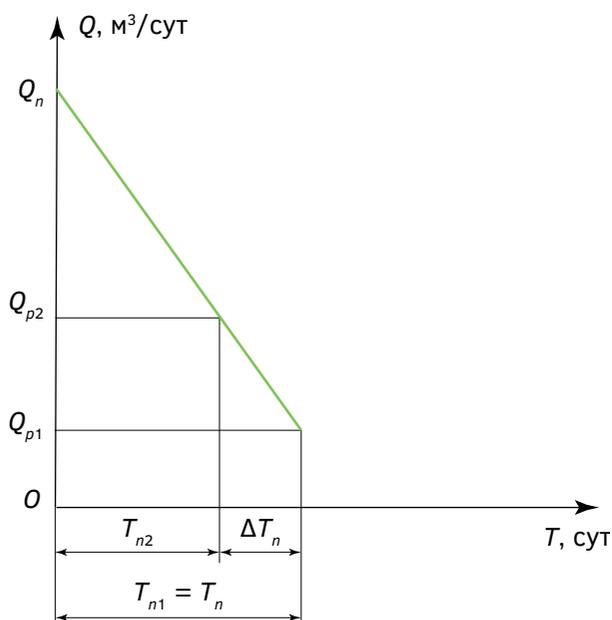
где  $Q_{p1} = k_1 \cdot Q_n$ ;  $Q_{p2} = k_2 \cdot Q_n$ .

Тогда пропорция (13) приобретает следующий вид:



**Рис. 2.** График зависимости длительности МРЦ при максимальной производительности  $T_m$  технологической скважины после проведения РВР от величины коэффициента восстановления  $k_b$  производительности технологической скважины

**Fig. 2.** The graph of the dependence of the duration of the MRC at the maximum productivity of the  $T_m$  of the technological well after the RVR on the value of the coefficient of recovery of the  $k_b$  of the productivity of the technological well



**Рис. 3.** Влияние изменения производительности вывода технологической скважины в ремонт на длительность МРЦ при проектной производительности

**Fig. 3.** The influence of changes in the productivity of bringing a technological well into repair on the duration of the MRC at design productivity

$$(Q_n - k_1 \cdot Q_n) / T_{n1} = (Q_n - k_2 \cdot Q_n) / T_{n2}, \quad (14)$$

$$Q_n (1 - k_1) / T_{n1} = Q_n (1 - k_2) / T_{n2} \quad (15)$$

или

$$(1 - k_1) / T_{n1} = (1 - k_2) / T_{n2}. \quad (16)$$

Зависимость (16) может быть записана в следующем виде:

$$T_{n2} / T_{n1} = (1 - k_2) / (1 - k_1). \quad (17)$$

При решении выражения (17) относительно  $T_{n2}$  получается следующая зависимость:

$$T_{n2} = (1 - k_2) / (1 - k_1) \cdot T_{n1}, \quad (18)$$

где  $T_{n1} = T_n$ .

При этом условии можно записать следующее выражение:

$$T_{n2} = (1 - k_2) / (1 - k_1) \cdot T_n, \quad (19)$$

тогда разность составит

$$\Delta T_n = T_n - T_{n2}. \quad (20)$$

Так, при  $T_n = 10 \div 20$  суток,  $k_1 = 0,7$ ;  $k_2 = 0,75$ , согласно формуле (19),  $T_{n2} = 0,25/0,3 \cdot (10 \div 20) = 8,33 \div 16,67$  суток. Тогда, в соответствии

с выражением (20) разность составит  $\Delta T_n = (10 \div 20) - (8,33 \div 16,67) = 1,67 \div 3,33$  суток.

Таким образом, длительность МРЦ при постоянной проектной производительности  $Q_n$  технологической скважины, составляющая  $T_n = 10 \div 20$  суток, с увеличением значения коэффициента пропорциональности  $k$  на 0,05 сокращается на интервал времени, равный, соответственно,  $\Delta T_n = 1,67 \div 3,33$  суток, что существенно. Это обстоятельство следует учитывать при переходе на другую величину производительности вывода технологической скважины в ремонт. Для определения допустимой максимальной производительности  $Q_m$  технологической скважины, которая должна быть обеспечена тем или иным видом РВР, для требуемой длительности межремонтного цикла  $T_m$  воспользуемся основной формулой (10), которую запишем в следующем виде

$$T_m \cdot (1 - k) = T_n \cdot (k_b - k), \quad (21)$$

или

$$T_m - k \cdot T_m = k_b \cdot T_n - k \cdot T_n. \quad (22)$$

Далее решаем выражение (22) относительно коэффициента восстановления  $k_b$  производительности технологической скважины, тогда имеем:

$$k_b = \frac{T_m - k \cdot (T_m - T_n)}{T_n}. \quad (23)$$

Но коэффициент восстановления производительности технологической скважины  $k_b$  представляет собой отношение максимальной производительности  $Q_m$ , полученной по результатам проведенного вида РВР, к проектной (плановой) производительности  $Q_n$ , тогда с учетом вышесказанного выражение (23) принимает вид:

$$\frac{Q_m}{Q_n} = \frac{T_m - k \cdot (T_m - T_n)}{T_n}. \quad (24)$$

Тогда формула для определения допустимой максимальной производительности  $Q_m$ , которая может быть реализована одним из комплексов, предназначенных для выполнения РВР технологических скважин, для различной длительности МРЦ при максимальной производительности  $T_m$  имеет вид:

$$Q_m = Q_n \cdot \left( \frac{T_m}{T_n} - k \cdot \left( \frac{T_m}{T_n} - 1 \right) \right). \quad (25)$$

При этом отношение  $T_m / T_n$  определяем из условия компенсации плановых потерь продуктивных растворов, которое имеет вид

или 
$$T_n \leq 2 \cdot \Delta T_m, \quad (26)$$

$$T_n \leq 2 \cdot (T_m - T_n), \quad (27)$$

откуда

$$T_m / T_n \geq 1,5. \quad (28)$$

С учетом полученного результата (28) выражение (25) принимает окончательный вид:

$$Q_m \geq Q_n \cdot (1,5 - 0,5 k). \quad (29)$$

Так, при значении коэффициента пропорциональности, равном  $k = 0,7$ ;  $k = 0,6$  наименьшая величина допустимой максимальной производительности технологической скважины после проведения имеющегося в распоряжении предприятия вида РВР будет, соответственно, равна:  $Q_{m1} = 1,15 \cdot Q_n$ ;  $Q_{m2} = 1,2 \cdot Q_n$ .

Для количественной оценки влияния принимаемого предприятием значения коэффициента пропорциональности  $k$  на минимально допустимую величину коэффициента восстановления технологической скважины, при которой предлагаемый вид РВР будет считаться эффективным, следует обратиться к основной формуле (10):

$$\frac{T_m}{T_n} = \frac{k_B - k}{1 - k}. \quad (30)$$

При отношении  $\frac{T_m}{T_n} \geq 1,5$  формула (30) записывается в следующем виде:

$$\frac{k_B - k}{1 - k} \geq 1,5. \quad (31)$$

При этом наименьшая величина коэффициента восстановления технологической скважины будет определяться по формуле вида:

$$k_B = 1,5 - 0,5k. \quad (32)$$

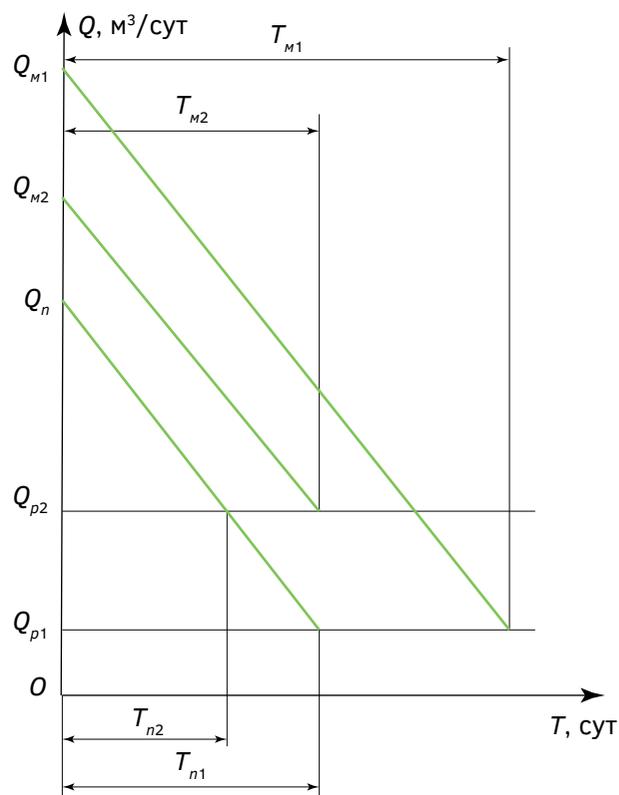
Так, при  $k = 0,5$ ;  $0,55$ ;  $0,6$ ;  $0,65$ ;  $0,7$ ;  $0,75$ ;  $0,8$  значения коэффициента восстановления будут с учетом формулы (32), соответственно, равны:  $k_B = 1,25$ ;  $1,225$ ;  $1,2$ ;  $1,175$ ;  $1,15$ ;  $1,125$ ;  $1,1$ . Качественное изменение ситуации будет отражено на графике, показанном на рисунке 4.

По результатам расчета строится график зависимости наименьшей величины коэффициента восстановления  $k_B$ , характеризующего эффективность принятого к производству вида РВР, от коэффициента пропорциональности  $k$ , определяющего величину производительности вывода технологической скважины в ремонт. График приведен на рисунке 5.

С помощью приведенного графика и заданного значения коэффициента пропорциональности  $k$  определяется наименьшая величина коэффициента восстановления  $k_B$ , позволяющая найти наименьшую величину допустимой максимальной производительности  $Q_m$ , принимаемой за начало отсчета при выборе наиболее эффективного вида РВР технологической скважины. Для количественной оценки влияния величины коэффициента пропорциональности на величину коэффициента эффективности рекомендуемого к применению вида РВР воспользуемся формулой (12), имеющей вид:

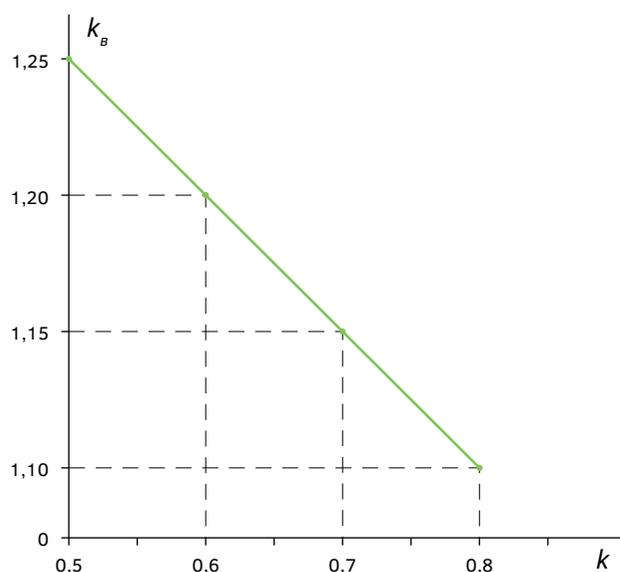
$$k_э = (k_B - k) / (1 - k). \quad (33)$$

Тогда, принимая коэффициент пропорциональности равным  $k = 0,6$ , а коэффициент восстановления  $k_{э1} = 2$ ;  $k_{э2} = 3$ ;  $k_{эN} = n$ , получим коэффициент эффективности предлагаемого к реализации вида РВР, соответственно, равным:  $k_{э1} = 3,5$ ;  $k_{э2} = 6$ ;  $k_{эN} = 2,5 (k_{эN} - 0,6)$ . А если принять коэффициент



**Рис. 4.** Графики влияния величины коэффициента пропорциональности  $k$  на величину допустимой максимальной производительности  $Q_m$  технологической скважины

**Fig. 4.** Graphs of the influence of the magnitude of the proportionality coefficient  $k$  on the value of the permissible maximum productivity  $Q_m$  of the technological well



**Рис. 5.** График зависимости наименьшей величины коэффициента восстановления  $k_v$  от коэффициента пропорциональности  $k$

**Fig. 5.** Graph of the dependence of the smallest value of the recovery coefficient  $k_v$  on the proportionality coefficient  $k$

пропорциональности  $k = 0,7$ , а величину коэффициента восстановления оставить без изменения:  $k_{в1} = 2$ ;  $k_{в2} = 3$ ;  $k_{вN} = n$ , то получим коэффициент эффективности предлагаемого к реализации вида РВР, соответственно, равным:  $k_{э1} = 4,33$ ;  $k_{э2} = 7,67$ ;  $k_{эN} = 3,33$  ( $k_{вN} - 0,7$ ).

Рассмотренные методические рекомендации могут применяться в следующем порядке.

1. На уровне предприятия принимается значение коэффициента пропорциональности  $k$ , определяющего величину производительности вывода технологической скважины в ремонт.

2. По таблице, приведенной в тексте методических рекомендаций, в зависимости от вида РВР, имеющегося в распоряжении предприятия, определяется величина коэффициента восстановления  $k_v$ , опираясь на наименьшее значение

данного коэффициента, полученное по формуле (32), или пользуясь графиком, показанным на рисунке 5.

3. Из интервала 10÷20 суток принимается длительность МРЦ при проектной производительности  $T_n$  технологической скважины.

4. По основной формуле (10) определяется длительность МРЦ при максимальной производительности технологической скважины после проведения РВР.

5. По формуле (11) или (12) определяется коэффициент эффективности вида РВР, который рекомендуется к применению.

### Выводы

1. Длительность МРЦ при максимальной производительности технологической скважины после проведения РВР с ростом  $k_v = 1÷4$  изменяется в интервале от 20 до 220 суток, что соответствует реальному положению на предприятии.

2. Показатель эффективности рекомендуемого к применению вида РВР при постоянной производительности вывода скважины в ремонт возрастает с увеличением величины коэффициента восстановления скважины.

3. Вышеприведенный график (рис. 5) определяет минимальную величину коэффициента восстановления, позволяющего найти наименьшую величину допустимой максимальной производительности, принимаемой за начало отсчета, при выборе вида РВР технологической скважины.

4. Предложенные основной показатель в виде длительности МРЦ технологических скважин СПВ и его производные позволяют в первом приближении предусмотреть своевременное проведение РВР и принять решение о выборе технических средств и технологий, а также получить сведения о количестве скважин, подлежащих ремонту. Полученные итоговые зависимости имеют практическую ценность и могут быть использованы линейным персоналом участков РВР и ДПР (добычи продуктивных растворов).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гейнц П.Ф., Кравцов В.А., Горохов Д.С., Махмутов Р.А. Оценка эффективности ремонтно-восстановительных работ на технологических скважинах при подземном выщелачивании металлов // Технический прогресс в атомной промышленности. Серия «Горно-металлургическое производство». 1989. № 3. С. 20—24.
2. Иванов А.Г., Ежов А.П. О выборе способа законного ремонта технологических скважин // Технический прогресс в атомной промышленности. Серия «Горно-металлургическое производство». 1990. № 2. С. 14—19.
3. Иванов А.Г., Кравцов В.А., Костин В.А., Ежов А.П. Опыт восстановления герметичности технологических скважин при ПВ // Технический прогресс в атомной промышленности. Серия «Горно-металлургическое производство». 1989. № 6. С. 17—19.

4. Иванов А.Г., Михайлов А.Н., Иванов Д.А., Арсентьев Ю.А., Соловьев Н.В., Назаров А.П. Ремонтно-восстановительные работы для повышения производительности технологических скважин // Разведка и охрана недр. 2020. № 6. С. 52—57.
5. Иванов А.Г., Михайлов А.Н., Иванов Д.А., Арсентьев Ю.А., Соловьев Н.В., Назаров А.П. Методы и технические средства обработки фильтров и при-фильтровых зон технологических скважин // Разведка и охрана недр. 2020. № 7. С. 40—44.
6. Иванов А.Г., Михайлов А.Н., Иванов Д.А., Арсентьев Ю.А., Соловьев Н.В., Назаров А.П. Специальные работы для восстановления и поддержания рабочего состояния эксплуатационной колонны технологических скважин // Разведка и охрана недр. 2020. № 8. С. 40—45.
7. Ивашечкин В.В., Шейко А.М. К расчету межремонтных периодов скважинных водозаборов с учетом старения скважин // Вестник «Наука и техника» БНТУ. 2006. № 6, С. 5—10.
8. Основные методические положения по обоснованию периодичности проведения технологических скважин с целью восстановления их производительности. М., ВНИПИпромтехнологии, 1983. 20 с.

## REFERENCES

1. Heinz P.F., Kravtsov V.A., Gorokhov D.S., Makhmutov R.A. Evaluation of the effectiveness of repair and restoration work at technological wells during underground leaching of metals // Technological progress in the nuclear industry. Series "Mining and metallurgical production". 1989. No. 3. P. 20—24 (In Russian).
2. Ivanov A.G., Yezhov A.P. On the choice of the method of back-hole repair of technological wells // Technological progress in the nuclear industry. Series "Mining and metallurgical production". 1990. No. 2. P. 14—19 (In Russian).
3. Ivanov A.G., Kravtsov V.A., Kostin V.A., Yezhov A.P. Experience in restoring the tightness of technological wells at PV // Technological progress in the nuclear industry. Series "Mining and metallurgical production". 1989. No. 6. P. 17—19 (In Russian).
4. Ivanov A.G., Mikhailov A.N., Ivanov D.A., Arsentiev Yu.A., Soloviev N.V., Nazarov A.P. Repair and restoration work to increase the productivity of technological wells // Exploration and Protection of Mineral Resources. 2020. No. 6. P. 52—57 (In Russian).
5. Ivanov A.G., Mikhailov A.N., Ivanov D.A., Arsentiev Yu.A., Soloviev N.V., Nazarov A.P. Methods and technical means of processing filters and filter zones of technological wells // Exploration and Protection of Mineral Resources. 2020. No. 7. P. 40—44 (In Russian).
6. Ivanov A.G., Mikhailov A.N., Ivanov D.A., Arsentiev Yu.A., Soloviev N.V., Nazarov A.P. Special works for restoration and maintenance of the working condition of the production column of technological wells // Exploration and Protection of Mineral Resources. 2020. No. 8. P. 40—45 (In Russian).
7. Ivashechkin V.V., Sheiko A.M. On the calculation of inter-repair periods of borehole water intakes taking into account the aging of wells // Bulletin "Science and Technology" BNTU. 2006. No. 6. P. 5—10 (In Russian).
8. The main methodological provisions on the justification of the frequency of technological wells in order to restore their productivity. Moscow, VNIPIpromtechnology, 1983. 20 p. (In Russian).

## ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Арсентьев Ю.А. — разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Назаров А.П. — отвечал за графическое оформление статьи, построение графиков и расчетной схемы, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Соловьев Н.В. — участвовал в разработке методических рекомендаций применительно к производственным условиям, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Иванов Д.А. — отвечал за качество перевода на английский язык текста статьи, участвовал в проведении оценки влияния на величину основного показателя своевременного выполнения РВР внешних факторов процесса эксплуатации технологических скважин СПВ металла, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Yuri A. Arsentiev — developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Alexander P. Nazarov — was responsible for the graphic design of the article, construction of graphs and calculation diagrams, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Nikolay V. Soloviev — participated in the development of methodological recommendations in relation to production conditions, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Dmitriy A. Ivanov — was responsible for the quality of the translation into English of the text of the article, participated in assessing the impact on the value of the main indicator of timely completion of the workover of external factors in the process of operating technological wells of SPV metal, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

## ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ / GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

Иванов А.Г. — согласовывал результаты аналитических исследований с процессами сооружения, эксплуатации и ремонта технологических скважин на производственных объектах, принимал участие в разработке концепции статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alexander G. Ivanov — coordinated the results of analytical studies with the processes of construction, operation and repair of technological wells at production facilities, took part in the development of the concept of the article, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Арсентьев Юрий Александрович\*** — кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия e-mail: [arsentev1956@yandex.ru](mailto:arsentev1956@yandex.ru) тел.: +7 (985) 145-62-02 SPIN-код: 6602-3910 ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1578-7632>

**Yuri A. Arsentiev\*** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: [arsentev1956@yandex.ru](mailto:arsentev1956@yandex.ru) tel.: +7 (985) 145-62-02 SPIN-code: 6602-3910 ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1578-7632>

**Назаров Александр Петрович** — кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия e-mail: [nazarovap@mgru.ru](mailto:nazarovap@mgru.ru) тел.: +7 (985) 952-74-10 SPIN-код: 5319-6574 ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8027-4544>

**Alexander P. Nazarov** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: [al.naz@mail.ru](mailto:al.naz@mail.ru) tel.: +7 (985) 952-74-10 SPIN-code: 5319-6574 ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8027-4544>

**Соловьев Николай Владимирович** — доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия e-mail: [solovyevnv@mgru.ru](mailto:solovyevnv@mgru.ru) тел.: +7 (903) 166-65-20 SPIN-код: 7537-6164 ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5660-9920>

**Nikolay V. Solovyov** — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: [solovyevnv@mgru.ru](mailto:solovyevnv@mgru.ru) tel.: +7 (903) 166-65-20 SPIN-code: 7537-6164 ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-5660-9920>

**Иванов Дмитрий Александрович** — инженер по бурению компании «Везерфорд». 4, 4-й Лесной переулоч, г. Москва 125047, Россия e-mail: [dexhouse@yandex.ru](mailto:dexhouse@yandex.ru) тел.: +7 (905) 166-74-29

**Dmitriy A. Ivanov** — Drilling Engineer, “Weatherford” Company. 4, 4th Lesnoy lane, Moscow, Russia e-mail: [dexhouse@yandex.ru](mailto:dexhouse@yandex.ru) tel.: +7 (905) 166-74-29

**Иванов Александр Георгиевич** — кандидат технических наук, главный специалист АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии». 33, Каширское шоссе, г. Москва 115409, Россия e-mail: [ivanov\\_ag@mail.ru](mailto:ivanov_ag@mail.ru) тел.: +7 (914) 804-18-53 SPIN-код: 4406-5064

**Alexander G. Ivanov** — Cand. Sci. (Tech.), Chief Specialist of JSC “Leading Design and Survey and Research Institute of Industrial Technology”. 33, Kashirskoe highway, Moscow 115409, Russia e-mail: [ivanov\\_ag@mail.ru](mailto:ivanov_ag@mail.ru) tel.: +7 (914) 804-18-53 SPIN-code: 4406-5064

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author